

# 浅谈洁净室用静电防护鞋的耗散特性

胡树, 黎鹏, 郭辉, 陈祥超

(深圳市新纶科技股份有限公司 科技创新中心, 广东 深圳 518132)

**摘要:** 从静电防护鞋的防护机理入手, 介绍和对比了国内外静电防护鞋的相关检测指标与测试方法, 并对其防静电性能和耗散特性的评价方法提出了一些建议。为解决静电防护鞋的低电阻、持久性和稳定性问题, 一方面需要开发高效持久的抗静电鞋材, 另一方面还可以从产品测试标准与方法着手, 对相关标准和方法进一步改进完善。建议与国际标准接轨, 综合考虑鞋/地系统的电阻(人体综合电阻)、行走电压, 提高产品的竞争力, 促进电子工业、石油工业、纺织工业、橡胶工业以及军事兵器工业等领域的快速发展。

**关键词:** 防静电鞋; 静电性能; 电阻; 摩擦电压

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2018.05.014

**中图分类号:** TJ07      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2018)05-0067-05

## Dissipation Characteristics of Electrostatic Protective Shoes in Clean Room

HU Shu, LI Peng, GUO Hui, CHEN Xiang-chao

(Science and Technology Innovation Center, Shenzhen Selen Science & Technology Co., Ltd, Shenzhen 518132, China)

**ABSTRACT:** This paper was embarked from the protective mechanism of anti-static shoes. National test methods and criterions of anti-static shoes were introduced and compared with related foreign standards. Some suggestions for evaluation method of antistatic and dissipative characteristics were given at last. To solve the problem of low resistance, persistence and stability problems of electrostatic protective shoes, on one hand, it was needed to develop efficient and durable antistatic materials; on the other hand, it also can be started from product testing standard and method, to further improve related standards and methods. It was recommended to integrate to international standard and give consideration to resistance (general resistance of human body) and walking voltage of shoes/ground system to improve competitiveness of product and promote rapid development of industries on electronics, petroleum, spinning, rubber and military affairs.

**KEY WORDS:** anti-static shoes; electrostatic performance; resistance; friction voltage

静电防护鞋, 又称防静电工作鞋, 指在标准检测条件下, 电阻值为 100 kΩ~1000 MΩ 的防护用鞋, 其作用是将人体活动产生的静电荷导入到地面, 防止静电放电。电子半导体器件、电子计算机、电子通讯设备和集成电路等微电子工业的生产车间和高级试验室为减少或消除静电危害<sup>[1-2]</sup>, 会要求进入工作环境中的相关人员必须穿着静电防护鞋。因此, 静电防护鞋的防静电特性决定了静电防护的效果, 对产品质量、安全生产甚至作业人员的健康都起到非常重要的

影响。

为检验静电防护鞋的功能特性, 确保其在正常使用过程的有效性和稳定性, 我国相关部门制定了一些相关标准, 比如 GB/T 21147—2007《个体防护装备防护鞋》、GB/T 20991—2007《个体防护装备鞋的测试方法》、SJ/T 10694—2006《电子产品制造与应用系统防静电检测通用规范》等。这些标准均对静电防护鞋类产品的防静电性能指标和测试方法作了标准化规定, 对静电防护与安全生产也起到了积极的作用。

不过随着经济全球化的趋势, 电子信息技术相关行业的飞速发展, 各行各业特别是电子制造业对静电防护越来越重视, 要求也越来越高。由于我国现行的相关标准并没有及时有效地更新和完善, 因此仍然存在着一些问题。

## 1 人体静电简介

### 1.1 人体静电的来源及危害

人体所带的静电主要来源于三个方面。首先, 人体活动范围大, 接触面积广, 较容易与带电物体接触或摩擦而带电, 人体自身所带电荷转移到工作对象(电子元器件)或通过工作对象放电的机会也大大增加。其次, 人体对地之间的电容低(大约为 150 pF), 少量的人体静电荷积累就会造成较高的静电势, 见表 1。再次, 人体电阻较低, 相当于良导体, 当人体处于静电场中也容易感应起电, 并且人体某一部分带电即可造成全身带电。因此, 人体是产生静电危害的最主要的静电源之一, 人体的静电防护非常重要<sup>[3]</sup>。

表 1 不同行为产生的人体静电电压

动作行为	人体静电电压/V
穿皮鞋在普通地面上行走(常速)	1200~1500
穿塑料拖鞋在普通地面行走(常速)	2500~2600
从座椅上突然站起	3800~4500
将外衣脱下	5000~7000

实验证明, 较低的人体静电电压放电就会导致电子产品的失效, 甚至是击穿, 影响产品质量, 见表 1<sup>[4]</sup>。由于部分工作场所存在管理漏洞, 个别工作人员的安全意识不强, 不按规定穿着静电防护鞋、服装和手环等防护用品, 造成了较大的安全隐患。当静电放电引起的火花能量大于工作场所存在的易燃易爆物质的点火能时, 可能引起火灾或爆炸, 对生产和人员安全造成危害<sup>[5]</sup>。

### 1.2 人体静电的防护机理

普通工作鞋一般由合成树脂、合成橡胶或弹性体等制成, 其体积电阻和表面电阻率很高, 没有抗静电效果。静电防护鞋主要采用聚氨酯(PU)、聚氯乙烯(PVC和SPU)等高分子材料作为基材, 加入补强剂、导电性的填充材料或表面活性剂, 以增强鞋材导电性能。通过冷粘或连帮注塑工艺与中底和鞋帮结合, 然后进行上线加固<sup>[6]</sup>。这种方法制作的静电防护鞋, 电阻在  $10^5 \sim 10^8 \Omega$  之间, 既可以有效泄露静电, 又能吸汗防臭, 舒适度高, 同防静电服和手腕带一起构成完整的防静电体系<sup>[5]</sup>。

静电防护鞋主要通过电荷传输、静电耗散和静电屏蔽三种方式来进行人体静电防护。电荷传输作用是

指通过人体、静电防护鞋和大地形成通路或鞋材本身的特殊结构设计, 将人体所带的大部分电荷以静电传导的方式迅速地从鞋底转移到地面。静电耗散作用是指借由静电防护鞋和防静电服较低的表面电阻, 将人体活动所引起的电荷慢慢释放到空气中。另外, 静电防护鞋和防静电服内的导电成分所形成的网络还具有一定的屏蔽作用<sup>[7-8]</sup>。人体所带的大部分电荷都以静电传导的方式从鞋底向地面转移, 另外有少量电荷通过体表向空气中耗散。因此, 在环境湿度不高的情况下, 静电防护鞋是静电耗散的主要路径。人在穿着防静电衣帽的情况下, 静电荷一经产生, 便可转移并通过静电鞋迅速传输到地面, 达到静电耗散的效果。这种情况下, 静电防护鞋的体积传导起主要作用。另外, 由于静电防护鞋的材料电阻率较低, 通过与地面摩擦产生的静电压较低, 这减少了静电放电的可能。因此, 静电防护鞋能够有效降低静电放电的影响, 防止静电引发的事故发生。

## 2 主要性能指标

电荷的耗散与自然界河流的流动相似, 会走电阻最短的路径<sup>[8]</sup>。许多工业用户错误地依据比较鞋底的表面电阻来选择静电防护鞋, 但各种静电耗散鞋(鞋底)测量的表面电阻通常会大于通过鞋底的电阻(体积电阻), 这说明电荷耗散的理想途径是从鞋底内部从上至下流通的, 而不是沿着鞋材表面耗散。因此我们应该关心的是鞋电阻(体积电阻), 它主要考察静电耗散鞋的电荷传输能力。为了提高鞋材的穿着舒适度, 缓解工作人员的疲劳感, 通常在鞋材制作时在大底上增加一层或多层柔性材料(比如发泡PU, 发泡EVA等)作为鞋中底。中底有些本身是导电的或防静电的材料, 有些则是绝缘的, 这时大多是采用缝制导电纱线使得中底上下导通, 因此就需要将中底和大底作为整体来评价鞋材的静电耗散性能。

### 2.1 鞋电阻

最新的 GB 21147—2007《个体防护装备防护鞋》中 5.10 部分对静电防护鞋的电阻要求进行了明确规定: 电阻值不小于  $10^6 \Omega$  且不大于  $10^9 \Omega$ 。标准中同时也规定了测试方法为 GB/T 20991—2007《个体防护装备鞋的测试方法》。具体的测试方法为: 在恒温( $20 \pm 2$ ) °C 下, 分别在干燥(RH 为  $30\% \pm 5\%$ ) 和潮湿(RH 为  $85\% \pm 5\%$ ) 环境中处理 7 d, 使用 4 kg 的钢珠装满试样鞋, 置于铜板上, 在钢珠和铜板间施加 100 V 直流电压, 1 min 后读取电阻测试仪的读数即为鞋的电阻。国际电工标准化机构和日本也发布了相关的标准, JIS T8103—2010《防静电鞋靴》和 ICE 61340-4-3—2001《Standard Test Methods for Specific

Applications-footwear》与我国标准测试方法和原理基本相同，对比见表 2。

从表 2 中可以看出，国内外主要是在具体的温湿度控制（预处理条件）、测试环境、荷重（钢珠）尺寸和质量等上有所差别。预处理条件中，ICE 和 JIS 标准比较接近，考虑了高温超低湿、常温低湿和常温中湿三种环境中平衡 48 h 或 96 h，我国标准规定的是常温低湿和常温高湿两种情况，不过平衡时间较长（7 d）。我国标准中测试环境与预处理条件一致，即只考虑了常温低湿和常温高湿两种环境，而 ICE 标准和 JIS 标准中并没有考虑高湿环境，JIS 标准还特别规定了低温测试条件。这可能是因为国外对洁净室环境控制严格，考虑到静电防护鞋的工作环境中湿度不可能达到 80%。其次，静电防护鞋的存放环境（仓库或鞋柜）通常并不是洁净室环境，JIS 标准考虑到地区特殊气候环境冬季气温较低，刚穿上静电防护鞋的

一段时间内，鞋底仍然处于低温状态，此时的鞋电阻是偏高的。电阻测试时荷重所用钢珠 IEC 标准和 JIS 标准一致，为  $(12.5 \pm 2.5)$  kg，国标为 4 kg，这可能是因为与各地区的环境以及人群特点有一定关系，欧美国家体型相对较胖，日本则在此基础上进行了借鉴。测试电压方面，国内外标准也很相似，为 100 V，不过国外对被测试对象的电阻进行了区分，当被测试对象的电阻低于 1 MΩ 时，测试电压变为 10 V。静电防护鞋的电阻范围国内外标准有一定差别，国家标准相对宽松  $(100 \text{ k}\Omega \leq R \leq 1 \text{ G}\Omega)$ ，IEC 标准为  $100 \text{ k}\Omega \leq R \leq 100 \text{ M}\Omega$ ，而目标最为苛刻，不仅分为一般工作鞋和特种工作鞋，需要同时满足常温测试和低温环境测试<sup>[9-10]</sup>。国内一些珠海和 TCL 集团企业标准中规定鞋电阻  $\leq 35 \text{ M}\Omega$ ，这既是在国家标准的基础上对静电防护鞋提出了更高的性能要求，也体现出对国外标准中鞋/地面系统电阻的一种学习与借鉴。

表 2 国内外静电防护鞋电阻测试标准比较

	GB/T 20991—2007 GB 21147—2007	ICE 61340-4-3—2001	JIS T8103—2010
预处理条件	1 (20±2) °C, 30%±5%, 7 d 2 (20±2) °C, 85%±5%, 7 d 3 —	(40±3) °C, <15%, 96 <sub>0</sub> <sup>+10</sup> h; (23±2) °C, 12%±3%, 96 <sub>0</sub> <sup>+10</sup> h (23±2) °C, 25%±3%, 96 <sub>0</sub> <sup>+10</sup> h (23±2) °C, 50%±5%, 48 <sub>0</sub> <sup>+5</sup> h	(40±3) °C, 12% ± 3%, 96 <sub>0</sub> <sup>+10</sup> h; (23±2) °C, 12%±3%, 96 <sub>0</sub> <sup>+10</sup> h (23±2) °C, 25%±3%, 96 <sub>0</sub> <sup>+10</sup> h (23±2) °C, 50%±5%, 48 <sub>0</sub> <sup>+5</sup> h
测试环境	1 (20±2) °C, 30%±5%, 7 d 2 (20±2) °C, 85%±5%, 7 d 3 —	(23±2) °C, 12±3% (23±3) °C, 23±3% (23±3) °C, 50±5%	常温: (23±2) °C: 低温: 0 <sub>0</sub> <sup>+2</sup> °C —
荷重	4 kg, φ(3.5±0.6) mm 钢珠	(12.5±2.5) kg, φ ≤ 3 mm 钢珠	(12.5±2.5) kg, φ ≤ 3 mm 钢珠
电压	(100±2) V, 1 min	R ≥ 1 MΩ: (100±5) V, 15 s R < 1 MΩ: (10±0.5) V, 15 s	R ≥ 1 MΩ: (100±5) V, 15 s/1 min R < 1 MΩ: (10±0.5) V, 15 s/1 min
电阻测试	100 kΩ ≤ R ≤ 1 GΩ	100 kΩ ≤ R < 100 MΩ	一般鞋: 常温 100 kΩ ≤ R ≤ 100 MΩ; 低温 100 kΩ ≤ R ≤ 1 GΩ 特种鞋: 常温 100 kΩ ≤ R ≤ 10 MΩ; 低温, 100 kΩ ≤ R ≤ 100 MΩ

## 2.2 行走电压

尽管静电敏感器件的内部已进行了 ESD 保护处理，但这仅仅是当电荷传递局限于一定尺寸和一定时间内才有效。有关检测报告显示，ESD 的损害往往只有 10% 是造成电子元器件当时完全失效，丧失特定功能，剩下的 90% 虽然不足以导致器件的立即失效，但元件内部依然会存在某种程度的轻微损伤，比如微小的偏差或漂移，这种潜在的危险极易被人们忽视。若这种元器件继续工作，随着 ESD 次数的增加，累积效应会越来越明显，其损伤程度也将加剧直至最终失效。另一方面，随着大规模 MOS 电路及贴装器件（SMD）的应用和元器件工艺技术的发展，集成电路的内绝缘层越来越薄，导致对 ESD 的能量敏感性增

加，极易引起薄的绝缘层损坏而失效<sup>[11-12]</sup>。各类半导体元器件的最低静电击穿电压见表 3。

表 3 各类半导体元器件的最低静电击穿电压

器件名称	最低击穿电压 $U_b/V$	器件名称	最低击穿电压 $U_b/V$
可控硅整流器	680	结型场效应管	140
混合电路	500	可编程只读存储器	100
双极性晶体管	380	EPROM	100
肖特基晶体管	300	GAAS	100
CMOS	250	VMOS	30
检测运算放大器	190	逻辑门电路	30
SAW	150	光电耦合器	<20

在评定一种产品的电阻时,需要了解给定电阻测量的电路径。一般而言,电荷会沿着电阻最小的路径耗散。以静电防护鞋的体积电阻作为静电性能的参考,主要针对的是人体活动产生的静电,而对于鞋底与地面的摩擦产生的电荷,往往缺少关注。这部分电荷在鞋底产生的瞬间便存在着耗散,因此其耗散特性无法仅仅用鞋电阻来衡量。

从表3可以看出,各类电子元器件越做越小,其静电击穿电压越来越低。人在行走时,鞋底与地面会有摩擦,当一只脚抬起来离开地面时,人体(含鞋)电压比双脚站立时高很多,这时如果工作人员接触到

工作对象,则很有可能对工作对象造成损伤甚至是破坏。因此,除了需要静电防护鞋具有较低的鞋电阻外,还需要对其行走(摩擦)电压加以控制,并将要求规范化。ANSI/ESD s20.20—2014《Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (excluding Electrically Initiated Explosive Devices)》规定鞋与地的行走电压不大于100 V,而国家标准未对此作出要求<sup>[13]</sup>。SJ/T 10694—1996《电子产品制造防静电系统测试方法》对摩擦电压有过规定小于100 V,但是最新发布的SJ/T 10694—2006《电子产品制造防静电系统测试方法》中却删去了这部分规定,见表4。

表4 标准中对其他指标的规定

技术指标	ANSI/ESD s20.20—2014				SJ/T 10694—1996	SJ/T 10694—2006
	产品认可		符合性验证			
	测试方法	要求限值	测试方法	要求限值		
行走(摩擦)电压	ANSI/ESD STM 97.2	<100 V	—	—	<100 V	—
鞋/地系统	ANSI/ESD STM 97.1	<1 GΩ	ESD TR53鞋和地板部分	<1 GΩ	—	—
人体综合电阻	—	—	—	—	1~100 MΩ	0.1 MΩ~1 GΩ

### 2.3 人体综合电阻

从鞋材的静电耗散性能测试角度考虑,单独对鞋本身的电阻进行测定是远远不够的。标准ANSI/ESD s20.20—2014中规定了鞋/地系统中静电防护鞋类产品的电阻和行走电压的测试方法和指标。标准中将鞋和地面作为一个系统,综合考虑了单个产品以及鞋/地系统的防静电性能。这种衡量方法考虑了行走电压以及其他因素对电阻的影响,更加全面、客观地反映了鞋材使用过程中的抗静电性能。行业标准SJ/T 10694—2006《电子产品制造防静电系统测试方法》也补充了用类似的人体综合电阻来客观表征鞋材的静电防护能力。国内大多数电子巨头工厂,比如京东方、天马微和华星光电等,都要求进入洁净室车间前进行门禁检测,测试人体综合电阻。

对于静电防护鞋而言,环境中水分的存在会降低材料的表面电阻,因此在高湿度环境平衡后测得的电阻偏小。在国内外标准中,对预处理和测试环境的温湿度条件和平衡时间都有明确的规定。我国国家标准中对温度的规定与美国和欧洲标准相近,但对湿度的要求差别较大。这可能是由于我国国土纬度跨越大,北方较干燥,南方较潮湿。在湿度30%±5%或85%±5%条件下的测试结果,能更大程度地反映静电防护鞋实际使用中的静电防护能力。

## 3 结语

国内静电防护鞋的抗静电性能主要是通过添加低分子的表面活性剂赋予的,而低分子表面活性剂的

相容性、迁移性和吸湿性的影响因素较多。这也导致了国产静电防护鞋的质量参差不齐。静电耗散效果的持久性和环境使用范围往往不理想,常规静电防护鞋的鞋/地摩擦电压也就无法达到要求,这使得我国的电子产品在经济全球化的竞争中往往处于劣势。随着全球化进程,要想具有企业和产品国际竞争力,必须对电子产品的静电防护以及防静电系统更加重视。为了解决静电防护鞋的低电阻、持久性和稳定性问题,一方面需要开发高效持久的抗静电鞋材,另一方面还可以从产品测试标准与方法着手,对相关标准和方法进一步改进完善。如前文所述,衡量鞋类产品的静电耗散特性,单单凭材料的体积电阻并不能全面准确地判断耗散性能。建议与国际标准接轨,综合考虑鞋/地系统的电阻(人体综合电阻)、行走电压,提高产品的竞争力,促进电子工业、石油工业、纺织工业、橡胶工业以及军事兵工业器等领域的快速发展。

### 参考文献:

- [1] GB/T 21147—2007, 个体防护装备防护鞋[S].
- [2] 蔡忠林. 防静电危害别小视防静电鞋的选用[J]. 化工安全与环境, 2015(3): 14-16.
- [3] 张云朋, 孙立富, 李义鹏, 等. 个体静电防护用品防护有效性研究[J]. 中国个体防护装备, 2015(2): 5-7.
- [4] 王书平, 侯民胜, 刘存礼. 人体 ESD 对电子产品的效应研究[C]// 中国物理学会静电专业委员会学术年会论文集. 北京: 中国物理学会静电专业委员会, 2006.
- [5] 殷证明. 无尘室专用防静电鞋[J]. 现代营销: 创富信息版, 2003(5): 21-21.
- [6] 张云朋, 刘全楨, 孙立富, 等. 石化行业用防静电鞋[J].

- 中国个人防护装备, 2014(4): 51-53.
- [7] 杨文芬, 刘基. 防静电服防静电性能指标分析及讨论[J]. 安全, 2015(7): 51-54.
- [8] Andrew J. Magenheimer, Carl Newburg. 评定洁净室用手套的耗散特性[J]. 洁净与空调技术杂志, 2001(1): 46-47, 49-50, 56.
- [9] JIS T 8103—2010, 防静电鞋靴[S].
- [10] ICE 61340-4-3—2001, 防静电物品的测试——防静电鞋[S].
- [11] 刘建斌, 田智会. 静电对电子产品的危害及其防护[J]. 装备环境工程, 2006, 3(6): 66-69.
- [12] 郑泓. ESD对电子产品的危害及防静电设计[J]. 企业科技与发展, 2010(22): 47-49.
- [13] ANSI/ESD s20.20—2014, Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices)[S].